

Д. Н. Тогобицкая, В. П. Пиптюк, Ю. М. Лихачёв
Институт черной металлургии НАНУ, г. Днепропетровск, Украина
И. Н. Логозинский, Б. А. Левин, А. С. Козачёк
ПАО «Днепрспецсталь», г. Запорожье, Украина
isi-ofhp.mail.ru

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Изложен опыт решения задач многокритериальной оптимизации механических свойств многокомпонентных легированных сталей на основе современных информационных технологий. В качестве обобщенных критериев оптимизации предложены физико-химические параметры меж-атомного взаимодействия, характеризующие зарядовое и структурное состояние металлического расплава.

Ключевые слова: информационные технологии, легированная сталь, физико-химические параметры, критерии оптимизации.

The experience of solving multicriteria optimization of the mechanical properties of multicomponent alloy steels based on modern information technology. As a generalized optimization criteria proposed physicochemical parameters of interatomic interaction characterizing the structural state of charge and metallic melt.

Keywords: information technology, alloy steel, physico-chemical parameters, optimization criteria.

Эффективность решения стратегических задач обеспечения конкурентоспособности металлопродукции в конкретных промышленных условиях в значительной степени определяется степенью компьютеризации научно-технических служб и производственных участков, наличием работоспособных информационно-аналитических систем комплексного анализа текущих производственных данных.

Развиваемая в ИЧМ НАН Украины методология создания и практического использования информационно-аналитических систем [1] на основе баз данных, моделей шлаковых и металлических расплавов является основой для автоматизации многопланового поиска оптимальных решений.

Современные информационные технологии позволяют решать проблемы с различными типами данных и получать выборки для любых срезов информации, обеспечивающие решение прогнозных задач на основе комплексного анализа и интерпретации разнотипных данных.

Организации и вводу информации в базы должны предшествовать строгие правила ее формализации (паспортизации) без потери смысла информации, вырванной из контекста исходных сообщений. Машинный паспорт экспериментальных данных (ПЭД) должен включать всю полноту информации без каких-либо предварительных обработок и «сглаживаний» о марке стали, химическом составе, ГОСТы на продукцию, сведения о термической обработке и сортаменте изделий, а также таблицах фактографической информации об их механических свойствах.

Систематизация полученной информации позволяет раскрывать по принципу «матрешки» последовательный анализ технологии и производимого сортамента.

Такая организация обработки разнотипной информации обеспечивает:

- хранение информации в документально-фактографических базах данных с сохранением оригинальности их исходного представления;
- использование интерактивных диалоговых средств комплексного анализа для решения вопросов оценки достоверности экспериментальной информации и работоспособности моделей;
- использование теоретических и эмпирических моделей для прогнозирования свойств металлопродукции по выборкам из баз;
- использование разнопланового графического представления информации для интерактивной экспертной оценки зашумленных областей данных.

Механические свойства металлопродукции и химический состав стали целевого назначения обычно имеют широкую колеблемость, зашумленность, зачастую и неполноту данных. В связи с этим принята концепция оценки достоверности данных путем последовательного уточнения областей (по принципу «микроскопа») на основе поэтапного анализа исходной информации.

С целью многопланового анализа данных сгенерировано математическое обеспечение, включающее наряду с традиционным программным обеспечением первичного анализа данных оригинальные методы целенаправленного проецирования данных, поиска скрытых закономерностей на основе методов физико-химического моделирования многокомпонентных металлических расплавов, охватывающих широкий спектр легирующих элементов.

Комплексный анализ свойств и химического состава начинается с формирования представительной выборки. Для проверки однородности и достоверности промышленных данных обычно используются тривиальные закономерности соотношений σ_B/σ_T и др. позволяющие оценить точность полученной информации. Такой методический подход позволяет путем целенаправленного проецирования информации в заданных координатах также увидеть структуру информации.

Для первичного анализа данных обычно используются дифференциальные кривые распределения показателей качества и соответственно химического состава выбранной стали. Так, например, для стали 14X17H2 выплавляемой в условиях ПАО «Днепрспецсталь», (режим термической обработки $T_{\text{зак}} = 1020^\circ$, время = 40 мин. в масле, $T_{\text{отп}} = 350^\circ$, время = 1 ч на воздухе (зак. 1020-40'м от. 350-60'вх)) обеспечиваются достаточно стабильные механические свойства в интервалах σ_b (кгс/мм²) – (111–125; 92 % значений), σ_T (кгс/мм²) – (86–104; 95 % значений), δ (%) – (14–24; 99 % значений), ψ (%) – (48–67; 95 % значений), КСЧ (кгс м/см²) – (5,6–11,31; 91 % значений).

Ретроспективный анализ данных о химическом составе (табл. 1) и свойствах стали показал, что в период с 2009 по 2014 г. происходило постепенное снижение содержания как основных легирующих (Cr, Ni), так и примесных (S, P, N, V, W, Mo, Nb) элементов и сужались диапазоны изменения их концентраций. В тоже время технология термической обработки обеспечивала требуемые механические свойства (рис. 1).

Таблица 1

Ретроспективный анализ данных о химическом составе

Σ (%)	2011 г.	2012 г.	2013г.
легирующие	18,91	18,86	18,82
примеси	1,31	1,36	1,208
элементы без Fe	20,22	20,16	20,033

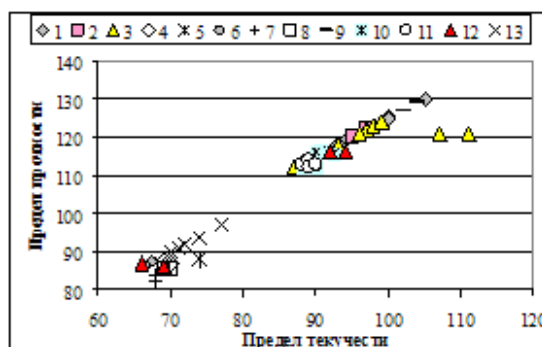


Рис. 1. Фрагмент проекции данных σ_b – σ_T металлопродукции из стали марки 14X17H2 для одной плавки различной термообработки (1–13)

Для оценки влияния химического состава стали на ее механические свойства используется разработанная в ИЧМ НАНУ методика физико-химического моделирования, принцип которой заключается в описании химического состава расплава комплексом интегральных модельных параметров межатомного взаимодействия, характеризующих его химическое и структурное состояние [1], включающая:

1. Расчет модельных параметров межатомного взаимодействия для данного химического состава зарядового Z^Y (e) и структурного d (10⁻¹ нм)

состояния, которые определяются как результат попарного взаимодействия всех его (m) компонентов.

2. Построение на основе экспериментальных данных прогнозных моделей для основных механических характеристик (σ_B , δ , KCU и др.) как функций отдельных модельных параметров, так и их сочетаний.

3. Определение рекомендуемых диапазонов изменения интегральных параметров, обеспечивающих требуемый уровень свойств.

4. Определение химического состава стали, удовлетворяющего выполнению требуемых диапазонов интегральных параметров на основе методов оптимизации.

Использование интегральных параметров Z^Y и d в качестве «свертки» химического состава многокомпонентного металлического расплава позволяет снизить параметричность моделей и повысить эффективность решения задач по схеме «химический состав – структура – механическое свойство» (рис. 2).

Для учета влияния матричной, примесной и легирующих подсистем обеспечены средства структуризации химического состава на основе методики факторного анализа, обеспечивающей снижение параметричности и выявление скрытых закономерностей.

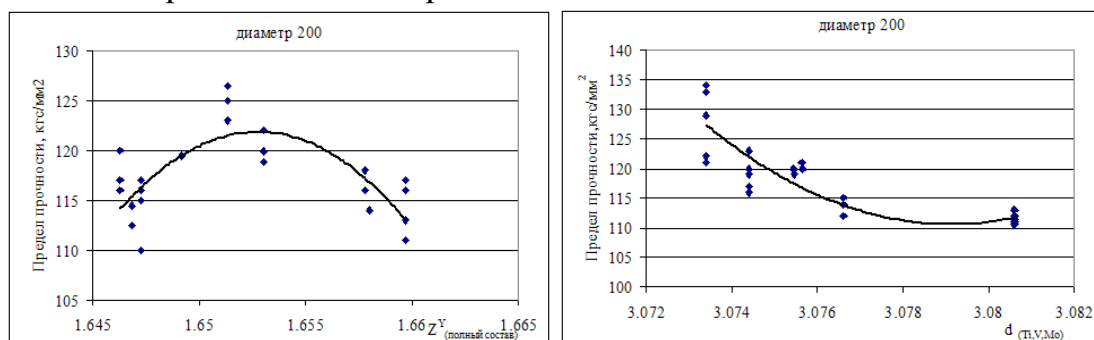


Рис. 2. Зависимость предела прочности металлопродукции стали марки 14X17H2 от параметров межатомного взаимодействия

Таким образом, задача оптимизации механических свойств сталей целевого назначения сводится к многокритериальной оптимизации путем наложения соответствующих ограничений на интегральные параметры, диапазоны которых обеспечивают требуемые свойства, а решение обратной задачи – определение оптимального химического состава на основе соответствующих оптимизационных процедур [1].

Список литературы

1. Тогобицкая Д.Н. Информационно-математическое обеспечение оценки влияния химического состава на свойства колесной стали / Д. Н. Тогобицкая, А. И. Бабаченко, А. С. Козачёк, А. А. Кононенко, Л. А. Головки // Наукові вісті. Сучасні проблеми металургії. 2013. № 16. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2014. С. 51–57.